

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号

特表2002-503887

(P2002-503887A)

(43)公表日 平成14年2月5日(2002.2.5)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード [*] (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	5 D 0 3 4
G 1 1 B 5/39		H 0 1 F 10/08	5 E 0 4 9
H 0 1 F 10/08		G 0 1 R 33/06	R

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 24 頁)

(21)出願番号 特願2000-531875(P2000-531875)
 (86)(22)出願日 平成11年2月10日(1999.2.10)
 (85)翻訳文提出日 平成12年8月11日(2000.8.11)
 (86)国際出願番号 PCT/FR99/00289
 (87)国際公開番号 WO99/41792
 (87)国際公開日 平成11年8月19日(1999.8.19)
 (31)優先権主張番号 98/01616
 (32)優先日 平成10年2月11日(1998.2.11)
 (33)優先権主張国 フランス (FR)
 (81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, I T, LU, MC, NL, PT, SE), JP, US

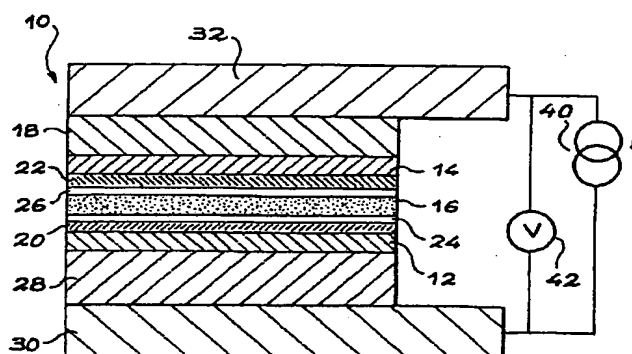
(71)出願人 コミツサリア タ レネルジー アトミー
 ク
 フランス国パリ, リユ ドウ ラ フェデ
 ラシオン, 31-33
 (72)発明者 ディエニー, ベルナール
 フランス国 エフ-38170 セイシネット,
 アヴニユ ヴィクトル ユゴー 154
 (72)発明者 ジャコモニ, ローランス
 フランス国 エフ-38000 グルノーブル,
 リュ デ クレルク 12ビス
 (74)代理人 弁理士 園田 吉隆 (外1名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 トンネル効果磁気抵抗体およびこれを用いた磁気センサ

(57)【要約】

— 第1の自由磁化磁性材料層(12)と、— 電氣的絶縁材料から構成された「バリア」層(16)と、— 第2の固定磁化磁性材料層(14)とを積層状態に配してなるトンネル効果磁気抵抗体である。この発明によれば、第1の層(12)の厚さは10nmより小さい。この発明は、特に、磁気データ読み取りヘッドの製造に適用される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の自由磁化磁性材料層(12)と、
電氣的な絶縁材料からなる「バリア」層(16)と、
第2の固定磁化磁性材料層(14)とを積層状態に配してなるトンネル効果磁気抵抗体であって、
前記第1の磁性材料層(12)の厚さが、7nm以下であることを特徴とする磁気抵抗体。

【請求項2】 前記第1の磁性材料層(12)の厚さが、0.2nm~2nmの範囲であることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗体。

【請求項3】 前記第2の磁性材料層(14)の厚さが、0.4nm~2nmの範囲であることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗体。

【請求項4】 前記第1の磁性材料層と前記絶縁バリア層との間に挿入された、非強磁性金属からなる層(24)をさらに具備することを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗体。

【請求項5】 前記絶縁バリア層と前記第2の磁性材料層との間に挿入された、非強磁性金属からなる層(26)をさらに具備することを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗体。

【請求項6】 前記第1および第2の磁性材料層の内の少なくとも一方にそれぞれ接触する少なくとも1つの磁性材料層(20, 22)またはドーピング層をさらに具備することを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗体。

【請求項7】 前記ドーピング層(20, 22)が、 $0 \leq x \leq 1$ であるxに対して、 $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$ 合金から構成された層であることを特徴とする請求項6記載の磁気抵抗体。

【請求項8】 前記第2の絶縁材料層の磁化を固定するために、第2の磁性材料層(14)と接触状態の反強磁性層(18)をさらに具備することを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗体。

【請求項9】 前記第1および第2の磁性材料層(12, 14)にそれぞれ電氣的に接触させられた2つの電流供給層(30, 32)をさらに具備することを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗体。

【請求項10】 前記第1の磁性材料層(12)と、該第1の層に電氣的に接触させられた前記電流供給層(30)との間に、少なくとも1つの金属層(26)またはバッファ層をさらに具備することを特徴とする請求項9記載の磁気抵抗体。

【請求項11】 請求項1から請求項10のいずれかに記載の少なくとも1つの磁気抵抗体を具備することを特徴とする磁気センサ。

【発明の詳細な説明】**【0001】****(発明の分野)**

この発明は、「磁気バルブ」磁気抵抗体としても知られる、トンネル効果磁気抵抗体およびそのような磁気抵抗体を用いた磁気センサに関するものである。

【0002】

磁気センサは、磁場または磁束を感知する。これにより、この発明に係る磁気センサは、例えば、磁気データ記憶媒体に記録されたデータを読みとるために使用される。さらに、この発明は、磁気RAM素子を製造するために使用することもできる。

【0003】

磁気センサは、配線を流れる電流を、該配線の近傍に形成される磁場を測定することにより決定するためにも使用される。

また、位置センサまたは磁気抵抗型コンパスのような、磁気センサの他の用途も想定することができる。

【0004】

さらに一般には、この発明は、磁場、特に、弱い磁場、すなわち、数A/m～数1000A/mの範囲の磁場を検出または測定することができる全ての種類のセンサまたは磁気抵抗体に関するものである。

【0005】**(従来技術)**

最近まで、特に、磁気記録の分野において、弱い磁場を検出するために使用される磁気抵抗センサは、そのほとんどが、「磁気抵抗異方性」効果に基づくセンサであった。

【0006】

磁気抵抗異方性効果は、ニッケル、コバルトまたは鉄系合金のような強磁性遷移金属に見ることができる。この効果は、金属を通過して流れる測定電流と材料の磁化方向との間の角度に依存した磁性材料の抵抗率の変化からなっている。

【0007】

$\Delta \rho / \rho$ として表現される、磁性材料の抵抗率 ρ における相対変化は、固体強磁性遷移金属においては、1 k A/m程度の磁場に対して、室温で4～5%に達する。しかしながら、同じ材料が、厚さ15～30 nmの薄い層に堆積される場合には、この大きさは1～2%に低減される。この厚さの範囲は、現在の磁気抵抗センサを製造するために使用されているものである。したがって、これらのセンサの抵抗率は制限される。さらに、それらの応答は線形的ではない。すなわち、抵抗率の変化は、測定電流と磁化方向との間の角度の余弦の2乗に比例する。

【0008】

「巨大磁気抵抗」効果に従って作動するセンサは公知である。この効果は、最初に、鉄-クロム型多層構造において発見され、その後、強磁性遷移金属層および非磁性金属層を変更することによって構成された他の多層システムにおいて発見された。

これらのシステムにおいて、磁気抵抗効果は、本質的に、連続した強磁性層の磁化の相対方向の変化に関連している。この効果は、通常、「巨大磁気抵抗」または「スピバルブ効果」の語句を用いて参照される。

【0009】

スピバルブ型磁気抵抗体において、感応強磁性層、すなわち、自由磁化層は、最大磁気抵抗を得るために6～12 nmの厚さを有している。6 nm以下では、磁気抵抗は、かなり小さい応答振幅を有している。したがって、この種の磁気抵抗体は、低磁束量に対する感度が制限される。

この明細書の末尾において参照されている文献1は、磁場センサを製造するための前記巨大磁気抵抗効果の使用の非常に一般的な記述を与えている。

【0010】

最後に、伝導電子のためのポテンシャルバリアを構成する絶縁材料の薄膜が2つの磁性材料層の間に挿入されている、金属絶縁材料金属トンネル効果接合において磁気抵抗効果が存在することが知られている。

磁性材料は、例えば、Fe, Co, Niまたはそれらの合金から選択され、厚さ数nmの絶縁材料層は、例えば、Al₂O₃, MgO, AlN, Ta₂O₅, HfO₂, NiOから選択された材料から構成されている。

【0011】

この種の接合において、該接合を電流源に接続し、または、2つの磁性材料層間に電圧を印加することにより、トンネル効果によって電子がバリアを通過するように強制される場合には、絶縁材料によって構成されているバリアのいずれかの側における磁性材料層の磁化の相対的な方向に応じて、接合のコンダクタンス G が（光学的な偏光子－検光子システムのように）変化することが観測される。

【0012】

「磁気バルブ効果」と呼ばれるこの効果は、最初に、低温においてのみ観測され、その大きさは非常に小さいものであった。

しかしながら、 $Fe/Al/Al_2O_3/FeCo$ 形式の接合を伴う特定の磁性材料／絶縁材料／磁性材料形式の構造は、室温において、17%程度の大きさで、コンダクタンスの変化を得ることを可能にしている。

【0013】

磁気バルブ効果構造は、例えば、文献2, 3, 4に開示されている。同様に、トンネル効果接合に対する実験は、文献5, 6に開示されている。これらの文献は、この明細書の末尾において参照されている。

【0014】

近年、特に、絶縁バリアの品質制御に関して、かなり進歩した接合構造が開発されている。

絶縁バリアは、例えば、接合の金属電極の内の1つに、アルミニウム薄膜を堆積し、その後、酸素プラズマでそのアルミニウム層を酸化することにより、製造される。

【0015】

したがって、酸素プラズマによる酸化時間によって、絶縁バリアの厚さおよび電気抵抗を検査することができる。

また、空気中でアルミニウム層を酸化することも可能である。この場合には、その結果および絶縁バリアの品質は、あまり再現可能ではない。

【0016】

$M-O-M'$ と表される磁性材料－酸化物－磁性材料形式の構造を有する磁気

バルブ効果接合においては、磁性材料は、磁性材料層の内的一方（例えば、 M'_a ）の磁化は所定の方向に固定された状態に維持されるように選択される一方、他層（この例では M ）の磁化方向は、与えられた磁場の変化に従うことができる。第1の層は「固定層」と呼ばれる一方、第2の層は、「感応層」と呼ばれる。スピンバルブ構造に関連する磁気バルブ接合の利点は、大きな測定振幅（5～9%に代えて17%）を提供することができることである。

【0017】

（発明の概要）

この発明は、大きなコンダクタンス変動振幅を与える、上述したようなトンネル効果磁気抵抗体に関連している。

また、この発明は、改善された感度を有し、よりコンパクトなサイズを提供する磁気抵抗体に関するものである。

【0018】

この発明は、特に、超高密度磁気記録（10 Gbit/inch²より大きい）のための磁気センサに関し、非常に少量の磁束を使用してデータを読み出すことを可能としている。

【0019】

これらの目的を達成するために、この発明は、さらに詳細には、

- 自由磁化磁性材料からなる第1の層と、
- 電気絶縁材料からなる「バリア」層と、
- 固定磁化磁性材料層からなる第2の層とを

積層した状態で具備するトンネル効果磁気抵抗体に関するものである。

【0020】

この発明によれば、第1の磁性材料層の厚さは、7 nm以下である。

特に良好な磁気抵抗感度は、第1の磁性材料層の厚さが0.2 nm～2 nmの範囲にあるときに得ることができる。

【0021】

第1の磁性材料層が極端に薄いことによって、特に、磁気抵抗体は、供給される磁束の小さな変動値に対して、大きな振幅のコンダクタンス変化を示す。

したがって、そのような磁気抵抗体は、高いデータ密度のデータ媒体、例えば、ハードディスク上のデータを読み出すのに適している。すなわち、ハードディスクに記憶されているデータの密度が高ければ高いほど、読み取りヘッドによって取り出される2つの隣接したデータビット間の磁気遷移によって生起される磁束 ϕ の量は小さくなる。この磁束は、 $\phi \doteq L \cdot e \cdot M_s \cdot \Delta \theta$ によって与えられる感応磁性材料層の磁化の回転 $\Delta \theta$ を誘起する。この式において、 $L \cdot e$ は感応磁性材料層の磁束 ϕ が入る断面積を示し、 e は、前記感応層の厚さ、 M_s はその自発磁化を表している。上記式は、磁束 ϕ の大きさが等しい場合には、感応層の厚さ e が薄ければ薄いほど、その磁化の回転 $\Delta \theta$ は大きくなるということを意味している。

【0022】

接合のコンダクタンス $G(\Delta \theta)$ は、下式に従って変化する。

$$G(\Delta \theta) = G_{\text{antiparallel}} + (G_{\text{parallel}} - G_{\text{antiparallel}}) \left((1 + \cos(\Delta \theta)) / 2 \right)$$

【0023】

この式において、 G_{parallel} および $G_{\text{antiparallel}}$ は、それぞれ、平行または反平行の形態におけるコンダクタンスを表している。 $\Delta \theta$ が大きければ大きいほど、コンダクタンス変化が大きくなり、したがって、センサの感度が高くなることがわかる。

【0024】

公知の従来の構造と比較するために、磁気抵抗異方性効果に基づく金属磁気抵抗センサ、または、AMRでは、感応層の厚さは少なくとも15 nmであることを指摘しておく。そのようなセンサにおいて、感応層の厚さを大幅に低減することは困難である。すなわち、AMRセンサにおいて、コンダクタンス変動効果の大きさは感応層の厚さが20 nm以下の場合には、大幅に低下する。同様にして、文献5、6に示されているように、トンネル効果接合において使用される電極は、例えば、30 nmより大きなかなりの厚さを有している。

【0025】

この発明の一側面によれば、固定磁化を有する第2の磁性材料層が、第1の磁

性材料層に匹敵する厚さで製造されてもよい。例えば、その厚さは、0.4～2 nmである。

【0026】

第2の磁性材料層が薄い場合には、磁化が固定される第2の層と、磁化が自由な第1の層との間の静磁気相互作用は小さい。このようにして、第1の磁性材料層は、非常に小さい磁気抵抗体構造においてさえも、影響を受けることなく、その自由磁化特性を良好に維持する。

【0027】

この発明の他の側面によれば、磁気抵抗体は、第1の磁性材料層Mと絶縁層Oとの間に反強磁性層NMを具備していてもよい。この層NMの目的は、単一カテゴリの伝導電子（または、層Mの磁化に平行なスピン電子、または、層Mの磁化に反平行なスピン電子）に対する反射防止被覆を形成することである。これにより、トンネル効果によって絶縁バリアを通過する電子の効率的な偏光が増大し、それによって、磁気抵抗体の大きさが大きくなる。

【0028】

この効果は、文献7に、理論的観点から説明されている。このスピンに依存した反射防止効果の物理的起源は、層NMの厚さが変化する場合には、周期M/NMの多層構造において観測される反強磁性層を通した磁気結合振動によるものと同じである。このことは、N/NM境界面における電子反射係数が、層Mの磁化に関連する電子スピンに依存するという事実に基づいている。これに関するさらなる情報については、この明細書の末尾にリストアップされている文献8、9を参照することができる。その結果、この発明に係るトンネル接合におけるこの選択的スピン反射防止効果から利益を得るために、対応する周期M/NMの多層が層NMの厚さに依存した結合振動を示すように磁性金属/反強磁性金属対を選択することが必要である。これらの結合振動多層構造についてはかなりの文献が現在利用可能である（例えば、文献8）。この文献は、材料M/NMを選択するためのデータベースとして使用することもできる。トンネル接合のための特に適正な選択は、CoまたはCoリッチな $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$ 合金（xは0～50%）からなる磁性金属層および反強磁性層のためのCuからなる層を使用することから

なっている。さらに、Co/Cu多層構造は、Cuを通してかなりの結合振動を示すことが知られている。N, NM対の他の取り得る選択例は、(Fe, Cr)、(Co, Ru)および(Fe, Au)である。層NMの厚さは、0～約10 nm、好ましくは0.04～3 nmの範囲で変化してもよい。

【0029】

これらの反射防止層NMは、絶縁バリアOのいずれかの側の磁性材料層と絶縁バリアとの間に挿入されていることが好ましい。

また、磁気抵抗体は、磁性材料層Mと層NMとの間の境界面、または、層NMがない場合には、層Mと絶縁バリアOとの間に挿入される、少なくとも1つの磁性材料またはドーピング層を具備していてもよい。

ドーピング層は、トンネル効果によってバリア層を通過する電子の偏光を増加させることを可能にする非常に薄い層である。

【0030】

これらは、コバルト、鉄または $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$ 合金から構成されていてもよい。ここで、 x は0と1の間のパラメータである。必要であれば、ドーピング層は少量の他の材料、例えば、ニッケルを含んでいてもよい。

【0031】

この発明は、例えば、上述した1以上の磁気抵抗体を具備する、データを読み取るための磁気センサにも関連している。

この発明の他の特徴および効果は、添付図面を参照した以下の説明においてより明確になる。この説明は、単に例示を目的としたものであって、この発明を網羅的に示しているものではない。

【0032】

(図面の簡単な説明)

- 図1は、この発明に係る磁気抵抗体の概略断面を示している。
- 図2は、図1の磁気抵抗体の磁性材料層における磁化方向を示す概略図である。
- 図3, 4, 5は、磁気抵抗体の自由磁化磁性材料層の厚さの関数として磁気抵抗体応答振幅を示すグラフである。

【0033】

(発明の実施形態の詳細な説明)

図1を説明する前に、この図はこの発明に係る磁気抵抗体の尺度を再現していないことを特筆しておく必要がある。すなわち、明確化のために、いくつかの断面の厚さは誇張表示されている。

【0034】

図1の磁気抵抗体10は、概して、自由磁化磁性材料12からなる第1の層12と、固定磁化磁性材料からなる第2の層14と、電氣的絶縁材料からなり、第1および第2の磁性材料層を分離する「バリア」層とを具備している。

【0035】

第1の磁性材料層12は、感応磁気抵抗層である。該第1の磁性材料層12は磁氣的に穏やかな材料、例えば、パーマロイ（登録商標）から構成されている。これにより、その磁化は、印加される外部磁場の変化に容易に応答する。

【0036】

この発明によれば、この層は、その磁化が、弱い磁束の影響下において大きく回転することができるように、非常に薄い。第1の磁性材料層12の厚さは、上述したように、0.2～2mmの範囲で選択されることが好ましい。

【0037】

第2の磁性材料層14は、例えば、好ましくは金属の反強磁性層と異方性を交換することにより、固定磁化磁性材料からなっている。

図1の例では、第2の磁性材料層14は、反強磁性合金からなる固定層18と接触し、かつ、結合している。固定層を製造するために使用することができる材料には、合金：FeMn, IrMn, CrMn, CrPtMn, IrCrMn, PtMn, NaMnが含まれる。

【0038】

第2の層14の磁性材料は、Fe, Co, Niおよび $\text{Fe}_{1-x-y}\text{Co}_x\text{Ni}_y$ 合金から選択されてもよく、FeリッチまたはCoリッチであること（yが0～30%、xが0～100%）であることが好ましい。さらに、第2の層14は、0.4～2nmの厚さで製造されることが好ましい。

【0039】

薄い第2の層14を製造することにより、（反強磁性層18と組み合わせて）異方性を交換することによる磁化の固定を促進する利点を提供される。さらに、磁気固定場は、固定層の厚さの逆関数である。これにより、薄い層の方が厚い層よりも大きな固定場を有することになる。

【0040】

第2の磁性材料層14の厚さに関連する他の利点は、前記層のエッジ間に存在しがちな漏れ場が低減されることである。

前記漏れ場を低減することにより、第1および第2の層間の寄生静磁気結合を回避し、それによって、第1の磁性材料層12の磁氣的に穏やかな特性を、薄い横寸法（1ミクロン程度）を有する装置においてさえも維持することができる。

【0041】

バリア層16は、アルミナのような電気絶縁材料からなる薄い層である。その厚さは、0.5nm～数nmであることが好ましい。バリア層は、アルミニウム層を酸素プラズマで酸化することにより得ることとしてもよい。

【0042】

符号20は、Fe、CoまたはCo-Fe合金のような材料からなる薄い層であって、第1の磁性材料層12とバリア層16との間に挿入された層を示している。この薄い層20は、ドーピング層とも呼ばれ、トンネル効果によってバリア層を通過する電子の偏光を増大させることができる。ドーピング層20の厚さは、0.1～0.4nmの間であることが好ましい。

【0043】

上述したドーピング層20と等価な他のドーピング層22も、第2の磁性材料層14とバリア層との間に設けられている。

図1における符号24は、第1の磁性材料層12のドーピング層20と絶縁バリア層16との間に挿入された、Cuからなる層のような反強磁性金属層を示している。反強磁性層の厚さは、0～数nmの範囲で変化する。これは、上述したように選択的スピン反射防止層として機能する。反強磁性層24と等価な他の層26は、絶縁バリア層16とドーピング層22との間に挿入されていることが好

ましい。

【0044】

第1の導体層30および第2の導体層32が、測定電流を磁気抵抗体の端子に供給するために設けられている。これらの導体層は、第1および第2の磁性材料層にそれぞれ電氣的に接触している。

【0045】

第1の磁性材料層12は、1つ（またはそれ以上）の導電バッファ層28によって、第1の導体電流供給層30に接続されている。例えば、バッファ層は、Ti, V, Cr, Co, Nb, Ru, Ta, Wから選択することができる。バッファ層の役割は、磁気抵抗体の他の層の満足のいく成長を促進することを目的としているので、磁気抵抗体の製造に関連している。

【0046】

バッファ層28の厚さは、1～数nm程度である。この厚さは、磁気抵抗体全体の厚さを増加させないように、従って、磁気抵抗体の磁極（端子）間の距離を増加させないように、小さいことが好ましい。このことは、良好な線形分解能を有する磁気トラック読み取りヘッドを得るために、特に好ましいことである。

【0047】

第2の導体電流供給層32は、固定層18によって第2の磁性材料層14に接続されている。

磁気抵抗体が、磁気トラック読み取りヘッドにおけるセンサとして使用することを意図しているものである場合には、一般には、専門家に周知の「垂直」ヘッドに提供される磁気スクリーンは、導体電流供給層30, 32として使用されることが好ましい。前記スクリーンは、しばしば、パーマロイ（登録商標）またはCoZrB合金から構成されている。

【0048】

符号40, 42は、電流発生器および電流変動測定装置をそれぞれ示している。これらの装置は、電流供給層30, 32間に固定されている。

【0049】

電流発生器40は、磁気抵抗体を通して積層方向にほぼ垂直な測定電流を循環

させるために使用される。さらに、測定装置42は、検出された外部磁場の変動に応じた磁気抵抗体のコンダクタンスに基づいて、磁気抵抗体素子の端子における電圧変動を記録するために使用される。

【0050】

図1は、この発明に係る磁気抵抗体の1つの特定の実施形態を表しているのみである。他の実施形態を想定することもできる。例えば、層の順序を以下のとおりとすることもできる。すなわち、電流供給層、バッファ層、反強磁性磁化固定層、薄い固定磁化磁性材料層、ドーピング層、反射防止層、絶縁バリア、反射防止層、ドーピング層、自由磁化磁性材料層、電流供給層の順である。

【0051】

これらの構造において、例えば、ドーピング層、反射防止層またはバッファ層のようないくつかの層は、本質的なものではない。他の方法では、第2の磁性材料層の磁化は、反強磁性固定材料からなる層を使用せずに固定することとしてもよい。

例えば、第2の磁性材料層が、永久磁石形式の高保磁力層または $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ と同様の組成を有する合金層であってもよい。

【0052】

スピンバルブ形式の構造において使用される他の固定プロセスが選択されてもよい。例えば、固定磁化磁性材料からなる第2の層は、2つの $\text{Co}-\text{Ru}-\text{Co}$ 形式の反強磁性結合磁性材料層から構成されていても良く、それらの層の厚さは、例えば、1nm、0.4nmおよび1nmである。

【0053】

図2には、第1および第2の磁性材料層12, 14のみが示されている。Iは、磁性材料層間の絶縁バリアを通したトンネル効果により循環する測定電流を示している。この電流は、両矢印によって表されている。同様に、磁気抵抗体に印加される外部磁場Hも両矢印によって表されている。

【0054】

第2の磁性材料層14の固定磁化方向は、矢印 M_2 によって示されている。図示された例では、磁気抵抗体は、固定された磁化 M_2 がほぼ外部磁場Hに平行と

なるように方向付けられている。

穏やかな磁性材料からなる第1の磁性材料層12の磁化方向は、自由である。

【0055】

矢印 M_{1a} は、外部磁場が印加されていないときの第1の磁性材料層12の磁化方向を示している。この方向は、磁氣的に穏やかな材料からなる層の自由磁化軸に対応している。

設計により、第1および第2の磁性材料層は、第1の磁性材料層12の自由磁化軸が、第2の磁性材料層14の磁化固定方向とほぼ垂直となるように配列されている。

【0056】

磁場 H が、磁気抵抗体に印加されるときには、第1の磁性材料層12の磁化方向が変化させられる。この層の磁化は、磁場が飽和値に達したときには、第2の磁性材料層14の磁化方向に平行、または、反平行の方向に整列される。

【0057】

磁場 H の存在下における第1の磁性材料層の磁化方向は、矢印 M_{1b} で示されている。外部磁場が M_2 に沿って印加された場合には、磁化方向 M_{1b} 、 M_2 は平行になる。外部磁場が M_2 とは反対方向に印加された場合には、磁化方向 M_{1b} 、 M_2 は反平行になる。

【0058】

図3、4、5は、第1の磁性材料層の厚さを変化させたときのコンダクタンスの相対変動 $\Delta R/R$ をY軸に表したグラフである。厚さはナノメートル単位で与えられている。

これらのグラフは、1つの非磁性（半無限）金属層、1つの磁性材料層、1つの酸化物バリア層、1つの磁性材料層および1つの非磁性（半無限）金属層からなる構造を有する、この発明に係る磁気抵抗体について計算により描いたものである。

【0059】

ここで、 k は使用材料のフェルミレベル波ベクトルを意味し、 \uparrow および \downarrow は電子スピンを意味するものとする、グラフを描くためのパラメータは以下のとお

りとなる。

- 非磁性材料層に対して: $k \uparrow = k \downarrow = 1 \text{ \AA}^{-1}$
- 磁性材料層に対して: $k \uparrow = 0.2 \text{ \AA}^{-1}$ 、 $k \downarrow = 1.4 \text{ \AA}^{-1}$
- 絶縁酸化物バリアに対して: $k \uparrow = k \downarrow = 1 \text{ i \AA}^{-1}$

【0060】

波のベクトルは、金属では実数、絶縁材料（減衰波）では虚数である。磁性材料層のために選択されたパラメータ値は、42%のトンネル電子偏光に相当している。この偏光は、鉄について測定された値（40%）と非常に近似している。

【0061】

図3は、磁性材料層12の厚さが0～10 nmの間で変化するときの、接合の磁気抵抗体変動を表している。破線は、磁性材料層の厚さが無限であるときに得られる磁気抵抗体の漸近値に相当している。

【0062】

この図から、厚さ2 nmより小さい絶縁材料層12に対して、最大振幅が得られていることがわかる。この振幅は、7 nm程度の厚さにおいて、漸近値に到達するように漸次減少する。したがって、この発明によれば、第1の磁性材料層12は、厚さ7 nm以下となるように選択される。

【0063】

図4は、0～2 nmの範囲で変化する磁性材料層の厚さに対して、図3のグラフを拡大して示したものである。振動は、非磁性金属—磁性金属、および、磁性金属—絶縁酸化物バリアの境界面において生ずる反射に関連した量子干渉効果によるものである。

これらの干渉効果は、層間の境界面において一定の粗さを示す実際の接合では消滅する。

【0064】

図5は、非磁性金属／磁性金属および磁性金属／酸化物の境界面において0.2 nmの粗さを考慮した場合の、磁性材料層の厚さに対する磁気抵抗の変化を示している。この粗さは、磁性材料の厚さの空間的な変動に起因するものであり、図4の量子振動を濾波し、その結果、平均的な変動のみを維持している。しかし

ながら、重要なポイントは、前記磁気接合において磁気抵抗効果を生じさせるのには、非常に薄い磁性材料であれば十分であるということである。

【0065】

曲線は、以下に参照する文献7に説明されている理論的モデルによって計算した。

このように、この発明に係る磁気抵抗体は、自由磁化層の厚さを減少させることにより、所定の磁束に対する従来の磁気抵抗体に対して、より高い磁気抵抗感度を得ることを可能にしている。

【0066】

(参考文献)

- (1) 米国特許第4949039号明細書
- (2) PHYSICAL REVIEW B, vol. 39, No. 10, April 1, 1989, "Conductance and exchange coupling of two ferromagnets separated by a tunneling barrier", by J. C. Slonczewski
- (3) Journal of Magnetism and Magnetic Materials 109 (1992) 79-90, "Spin dependent electron tunneling between ferromagnetic films", by J. Nowak and J. Rauluszkievics
- (4) PHYSICAL REVIEW LETTERS, vol. 74, No. 16, April 17, 1995, "Large magnetoresistance at Room Temperature in Ferromagnetic Thin Film Tunnel Junctions", by J. S. Moodera et al.
- (5) Journal of Magnetism and Magnetic Materials 139 (1995) L231-L234, "Giant magnetic tunneling effect in Fe/Al₂O₃/Fe junction", by T. Miyazaki, N. Tezuka et al.
- (6) J. Appl. Phys. 79(8), April 15, 1996, Symposium on Spin Tunneling and Injection Phenomena, "Ferromagnetic-insulator-ferromagnetic tunneling: Spin-dependent tunneling and large magnetoresistance in trilayer junctions", by Jagadeesh S. Moodera and Lisa R. Kinder
- (7) Europhysics Letters, Europhys. Lett. 39(2), pp. 219-224 (1997), 15 July 1997, "Resonance in tunneling through magnetic valve tunnel junctions"

ions", by A. Vedyayev et al.

(8) Eds B. Heinrich and J. A. C. Bland (Springer-Verlag Berlin 1994, 82), "Ultrathin Magnetic Structures II, Measurement Techniques and Magnetic Properties", A Fert and P. Bruno, (1994)

(9) Journ. Magn. Mater. 121, 248 (1993), "Interlayer exchange coupling: a unified physical picture", P. Bruno

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明に係る磁気抵抗体を示す概略縦断面図である。

【図2】 図1の磁気抵抗体の磁性材料層における磁化方向を示す概略図である。

【図3】 磁気抵抗体の自由磁化磁性材料層の厚さに対する磁気抵抗応答振幅を示すグラフである。

【図4】 図3を拡大したグラフである。

【図5】 図4の振動成分を除去したグラフである。

【図1】

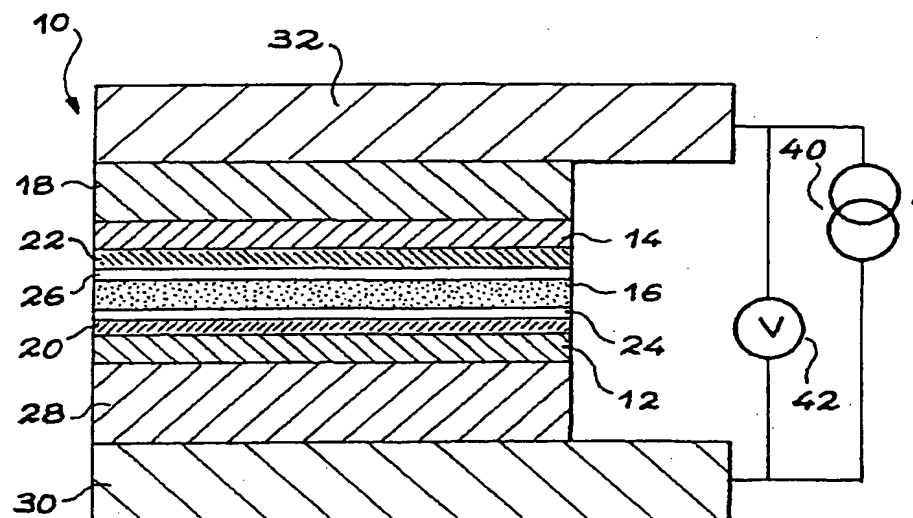


FIG. 1

【図2】

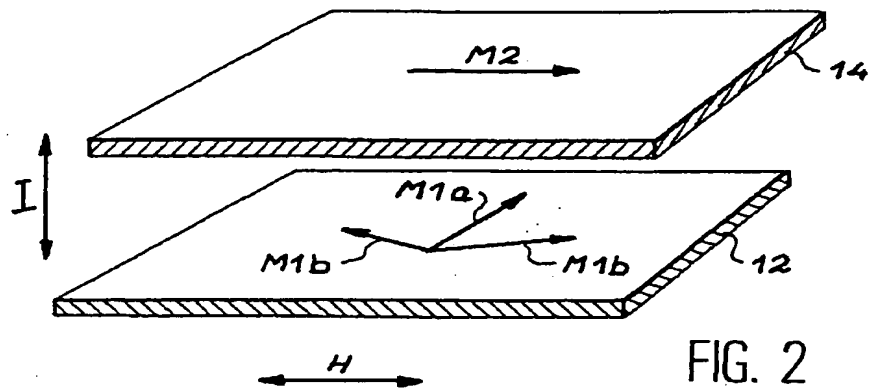


FIG. 2

【図3】

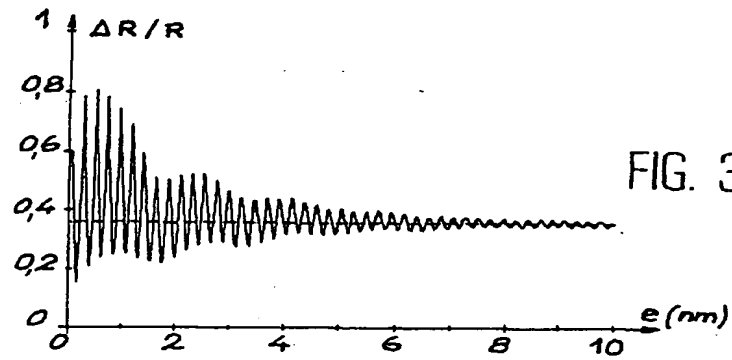


FIG. 3

【図4】

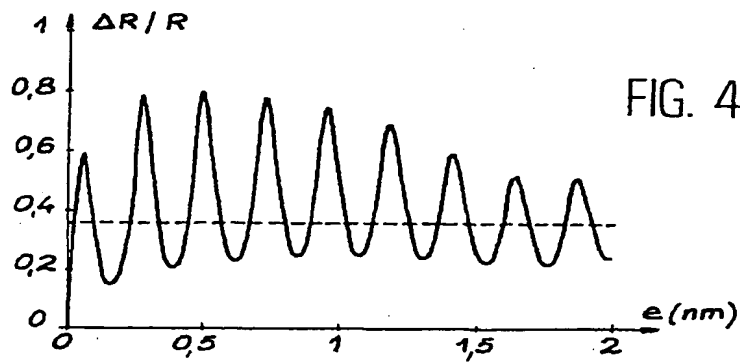
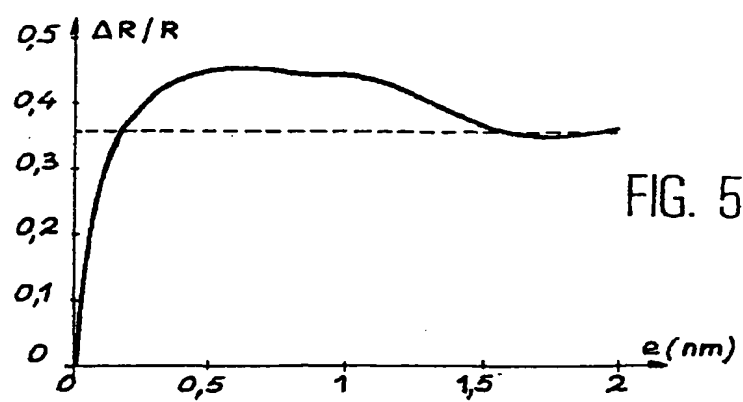


FIG. 4

【図5】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/FR 99/00289

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 H01L43/08 H01F10/08		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 H01L H01F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 650 958 A (GALLAGHER WILLIAM JOSEPH ET AL) 22 July 1997 see column 4, line 54 - column 5, line 13 see column 8, line 4-42 see column 11, line 13-20	1,6-9
A		11
A	RISHTON S A ET AL: "Magnetic Tunnel Junctions fabricated at tenth-micron dimensions by electron beam lithography" MICROELECTRONIC ENGINEERING, vol. 35, no. 1, February 1997, page 249-252 XP004054051 see figure 2	1,8,9
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document relating to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "S" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 3 May 1999		Date of mailing of the international search report 11/05/1999
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040. Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-2018		Authorized officer De Laere, A

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In. Additional Application No.

PCT/FR 99/00289

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GALLAGHER W J ET AL: "MICROSTRUCTURED MAGNETIC TUNNEL JUNCTIONS (INVITED)" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 81, no. 8, PART 02A, 15 Apr 11 1997, pages 3741-3746, XP000702680 see figure 3	1,8,9
A	LU Y ET AL: "SHAPE-ANISOTROPY-CONTROLLED MAGNETORESISTIVE RESPONSE IN MAGNETIC TUNNEL JUNCTIONS" APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 70, no. 19, 12 May 1997, pages 2610-2612, XP000694770 see the whole document	1,6-9
A	HWANG D G ET AL: "MAGNETORESISTANCE AND MORPHOLOGY IN MAGNETIC MULTILAYERS BY INSERTION OF VERY THIN FE, CO LAYERS" IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, vol. 32, no. 5, September 1996, pages 4579-4581, XP000634073 see the whole document	1,4-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. Patent Application No.
PCT/FR 99/00289

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 5650958	A	22-07-1997	JP	10004227 A	06-01-1998
			US	5841692 A	24-11-1998

フロントページの続き

(72)発明者 ヴェディアエフ, アナトリー
ロシア共和国 105215 モスコー, プー
ルバール シレネヴェ, アパルトマン
52

Fターム(参考) 2G017 AD55 AD63 AD65
5D034 BA03 BA15 CA00
5E049 AA04 AB09 AC05 BA16